عملکرد زیست‌سورفاکتانت در ازدیاد برداشت نفت به روش میکروبی

مجتبی خانی، علی بهرامی*، حمید مشمری

تهران، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، پژوهشکده علوم و فناوری زیستی، گروه مهندسی شیمی- بیوتکنولوژی

پیام نگار:**a_bahrami@mut.ac.ir**

چکیده

ازدیاد برداشت نفت به روش میکروبی[1] به کلیه فرایندهایی اطلاق می‌شود که در آنها از قابلیت تولید متابولیت‌های میکروبی توسط میکروارگانیسم‌های مختلفی جهت بهبود بازدهی استخراج نفت استفاده می‌شود. از جمله این متابولیت ها، زیست‌سورفاکتانت‌ها[2] می‌باشند. زیست‌سورفاکتانت ها ترکیبات فعال سطحی هستند که با کاهش کشش سطحی منجر به حل شدن ترکیبات آلی در ترکیبات غیرآلی می‌شوند. این مقاله مروری بر روش‌ها و مزیت‌های بهره‌گیری از زیست‌سورفاکتانت و فاکتورهای مؤثر در تولید آنها و همچنین تأثیر شرایط محیطی بر عملکرد زیست‌سورفاکتانت ها در ازدیاد برداشت میکروبی نفت خواهد داشت.

کلمات کلیدی: ازدیاد برداشت، زیست‌سورفاکتانت ، نفت، MEOR

Archive

۱- مقدمه

ازدیاد میکروبی برداشت نفت (MEOR) به روشی اطلاق می‌شود که در آن با استفاده از توانایی میکروارگانیسم‌ها میزان نفت استخراجی از چاه‌ها افزایش می‌یابد. میکروب‌ها به سه طریق می‌توانند باعث ازدیاد برداشت از مخازن نفتی شوند :

۱- با اکسیداسیون نفت، اسید چربی تولید می‌کنند که باعث کاهش گرانروی نفت می‌شود.

۲- با تولید مقادیر نسبی از گازCo2، باعث افزایش فشار در مخزن می‌شوند، از این رو مانند تزریق گاز عمل می‌کنند.

۳- بیومس میکروبی در سطح مشترک سنگ و نفت موجود در مخزن باعث جابجایی فیزیکی نفت می‌شود.

عوامل محدود کننده استفاده از MEOR شامل شرایط فیزیکی نفت مثل دما، فشار، نمک و سایر شرایط فیزیکی می‌باشد. از آنجا که شرایط فیزیکی چاه‌های نفت با هم تفاوت دارند نمی‌توان برای همه آنها از یک نوع ریزاندام استفاده کرد. مثلاً در چاه‌های کم عمق کار با روش MEOR به دلیل دمای کمتر نسبت به چاه‌های عمیق که دمای بالاتری دارند آسان تر است[۱].

از جمله مواردی که باعث مطرح شدن روش MEOR در بین سایر روش‌های ازدیاد برداشت شده است، مزایای اقتصادی این روش می‌باشد. از دیدگاه اقتصادی مزایای زیر را می‌توان برای این روش برشمرد[۳و۲]:

- ارزان قیمت بودن ریزاندام‌ها و مواد مغذی مورد نیاز در این فرایند.
- با توجه به نیاز آب در این فرایند استفاده از MEOR در میادین دریایی از نظر اقتصادی با صرفه است.
- قیمت مواد تزریقی ارتباطی با قیمت نفت و نوسانات آن ندارد.
- تجهیزات سیلاب زنی آب در این مورد نیز قابل استفاده می‌باشند.

1. Microbial Enhanced oil Recovery
2. Biosurfactants

- کلیه محصولات MEOR زیست تخریب پذیر بوده و در مورد محیط زیست تجمع نیافته آلودگی محیط زیست را به همراه ندارند.
- روش MEOR از نظر اقتصادی با سایر روش‌های ازدیاد برداشت رقابت می‌کند.

استفاده از میکروب‌ها در ازدیاد برداشت نفت بحث جدیدی نیست. در سال ۱۹۲۶ بکمن[1] برای اولین بار دریافت که ریزاندام‌ها قابلیت استخراج نفت از یک محیط متخلخل را دارند. در بین سال‌های ۱۹۲۶ تا ۱۹۴۰، تحقیقات محدودی در این زمینه صورت گرفت که سرانجام در سال ۱۹۴۰، زوبل[2] و گروه تحقیقاتی وی پژوهش درخصوص این موضوع را آغاز کردند. نتایج کار آنها افق جدیدی را در میکروبیولوژی نفت گشود که در برداشت نفت کاربرد داشت. زوبل مکانیسم اصلی استخراج نفت از محیط متخلخل را که رقیق سازی کربنات‌های غیرآلی است، مورد بررسی قرار داد. وی با بهره‌گیری از متابولیت‌های میکروبی همچون: تولید گازهای باکتریایی که ویسکوزیته نفت را کاهش می‌دهد، بیومس[3] سلولی، حلال ها، عوامل فعال سطحی(زیست‌سورفاکتانت ها) و اسیدها توانست به استخراج بیشتر نفت برسد. در این میان از باکتری‌های مختلف جهت ازدیاد برداشت بهره گرفته شد که از جمله آنها: گونه‌های کلستریدیوم[4]، باسیلوس[5]، سودوموناس[6]، آرتروباکتریوم[7]، میکروکوکوس[8]، پپتوکوکوس[9]، میکوباکتریوم[10] و غیره است[۴].

۲- روش MEOR

باکتری‌های مورد استفاده در این روش باید از خصوصیات زیر برخوردار باشند:

- کوچک باشند.
- قابلیت رشد سریع و تحرک بالا در چاه داشته باشند.
- ترکیب متابولیت مناسبی از جمله گاز، اسید و حلال تولید کنند.
- قادر به تحمل شرایط محیطی سخت از نظر دما، pH و شوری بالا را داشته باشند.
- برای رشد و متابولیسم به مواد پیچیده جهت مواد مغذی نیاز نداشته باشد.
- روش‌های ازدیاد برداشت میکروبی نفت عبارتند از[۵]:
- روش درون محلی[11]
- روش برون محلی[12]

تفاوت این دو روش در مکان انجام آن است. در روش درون محلی، تولید محصول میکروبی در داخل مخزن صورت می‌گیرد. این کار می‌تواند با تحریک میکروب‌های موجود در مخزن یا با تزریق میکروب‌های خارجی صورت پذیرد که با تولید متابولیت ویژه موجب افزایش برداشت نفت می‌شود. اما در روش برون محلی، محصولات میکروبی در جایی خارج از مخزن تولید شده و سپس با جداسازی یا بدون جداسازی سلول‌های باکتریایی به مخزن تزریق می‌شود. در این مورد بیوراکتورها با اندازه اقتصادی مد نظر است، تا بتوانند میزان متابولیت مورد نیاز را تولید کنند. در فرایند درون محلی که میکروب‌های خارجی به داخل مخزن تزریق می‌شوند، مطالعات جهت تخمین واکنش میکروب‌های تزریقی با میکروب‌های غیربومی، مواد مغذی، نفت و سنگ از اهمیت بالایی برخوردار است[۸]. موفقیت فرایند MEOR درون محلی به انتخاب سنگ مخزن، پتانسیل گونه‌های باکتریایی، زیست پذیری باکتری تحت شرایط مخزن، مقدار متابولیت‌های تولیدی و تأثیر آنها در استخراج و سایر فاکتورهای اقتصادی بستگی دارد. یکی از نگرانی‌های اصلی صنعت جهانی نفت در ارتباط با SRBها است که همان باکتری‌های احیاکننده سولفات هستند، این باکتری‌ها شوری و خوردگی رادر اثر تولید H_2S ایجاد می‌کنند. به همین جهت باید مراقبت‌های لازمه صورت گیرد تا به هنگام تزریق مواد به داخل چاه، آلودگی به همراه آنها وارد مخزن نشود. در تحقیقی از زیست کش‌ها جهت حذف این باکتری‌های زیان بار استفاده شده است[۱۱].

مکانیسم‌های مورد استفاده در ازدیاد برداشت نفت عبارتند از[۴]:

- اصلاح خصوصیات نفوذپذیری و تخلخل
- تغییر خصوصیت خیس شوندگی
- انحلال نفت
- امولسیون کنندگی
- تغییر نیروهای بین سطحی
- کاهش نسبت تحرک نفت
- تغییر مسیرهای متابولیکی میکروبی با سدیم بی کربنات

1. Beckman
2. ZoBell
3. Biomass
4. Clostridium
5. Bacillus
6. Pseudomonas
7. Arthrobacterium
8. Micrococcus
9. Peptococcus
10. Mycobacterium
11. In situ
12. Ex situ

Archive of SID

www.SID.ir

۳- زیست‌سورفاکتانت

زیست‌سورفاکتانت‌ها مولکولهایی آمفی فیلیک[1] هستند که یک بخش آبدوستی[2] و یک بخش آبگریزی[3] دارند، که موجب کاهش کشش سطحی آب، نفت و سنگ، امولسیون نفت خام و قابلیت خیسی را تغییر می‌دهند. علاوه بر MEOR، زیست‌سورفاکتانت‌ها در زیست پالایی بیولوژیکی، مهندسی تخمیر، صنایع آرایشی، صنایع غذایی و غیره کاربرد دارند. به خاطر ساختار آمفی فیلیک آنها، زیست‌سورفاکتانت ها بخش هیدروفوبیک خود را افزایش می‌دهند، که قابلیت دسترسی به آب چنین موادی را افزایش، و پروتئین‌های سطح سلول میکروبی را تغییر می‌دهد. فعالیت سطحی، سورفاکتانت‌ها را به امولسیون کنندهٔ عالی، کف کننده و عامل پخش کننده بدل کرده است. زیست‌سورفاکتانت‌ها در مقایسه با معادل‌های سنتزی شیمیایی آنها فواید فراوانی دارند[۶]. برخی از کاربردها و ویژگی‌های متابولیت‌های میکروبی متداول در صنعت نفت در جدول (۱) ارائه گردیده است.

همانطور که در جدول (۲) بیان شده است، کاربرد و فعالیت زیست‌سورفاکتانت‌ها را در صنعت نفت به طور کلی به سه دسته تقسیم می‌کنیم، استخراج، انتقال و پاک کردن آلودگی در مخازن نفت[۲۲].

جدول (۲) را می‌توان به بیانی ساده در شکل (۱) مشاهده نمود[۱۲]. زیست‌سورفاکتانت ها دوستدار محیط زیست، با قابلیت تجزیه زیستی، و با سمیت کمتری هستند. این ترکیبات خاصیت کف کنندگی بهتر و گزینش‌پذیری بالاتری دارند. در دماهای بالا،pH و نمک بالا، فعال هستند و می‌توانند از فاضلابهای صنعتی تغذیه کنند. این امر موجب کاهش زیان‌های ناشی از این فاضلابها در محیط زیست شده است[۷].

جدول ۱- محصولات میکروبی، نقش آنها در ازدیاد برداشت و برخی از تأثیرات آنها درمحصولات نفتی[۴]

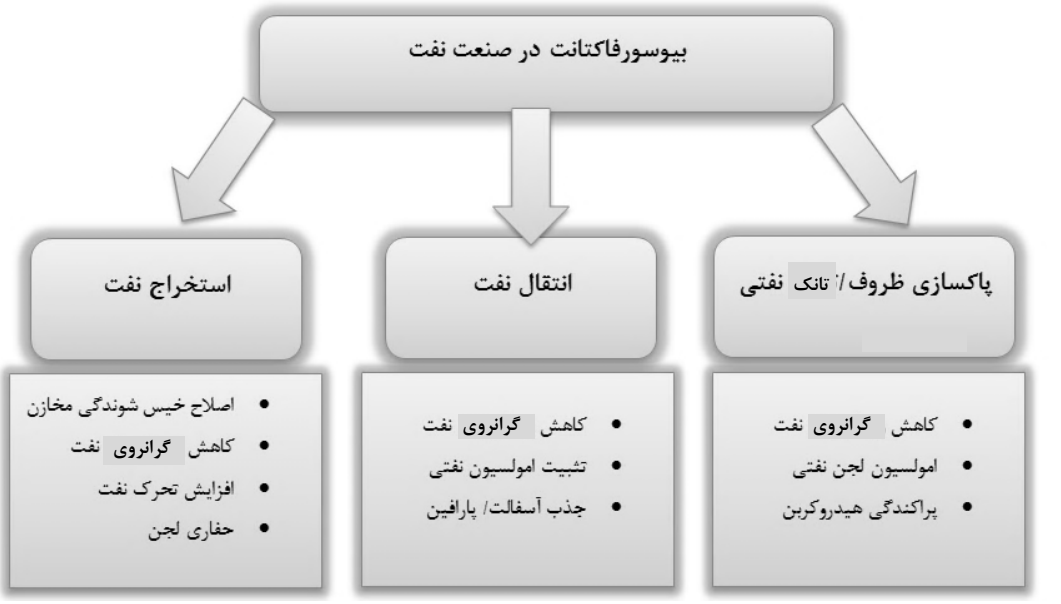
محصول میکروبی	نقش در ازدیاد برداشت	برخی تأثیرات
گازها (N_2، H_2، CH_4، CO_2)	• کاهش گرانروی و بهبود ویژگی‌های جریان • تحرک و جابجایی • پاک کردن نفت از محل	• بهبود برداشت نفت با گازها • شناورسازی با CO_2
اسیدها (اسیدهای با جرم مولکولی پائین، اسیدهای چرب با جرم مولکولی پائین)	• بهبود تأثیر نفوذپذیری با رسوب کربنات محلول از دهانه متخلخل. بهبود قابل قبول نفوذ و تخلخل • تولید CO_2 از واکنش‌های شیمیایی بین اسیدها و کربنات، کاهش گرانروی نفت	• افزایش شناوری نفت
حلال‌ها (الکل‌هاو کتون‌هایی که معمولاً کوسورفاکتانت[4] هستند)	• انحلال در نفت و کاهش گرانروی • انحلال و حذف هیدروکربن‌های راست زنجیر از دهانه‌های متخلخل • کاهش کشش بین سطحی	• بهبود امولسیون‌کنندگی جهت افزایش امتزاج‌پذیری
زیست‌سورفاکتانت ها	• کاهش کشش بین سطحی نفت و سطح سنگ/آب • تغییر خصوصیات خیس شوندگی	• سورفاکتانت میکروبی • شناورسازی
زیست‌بسپارها	• بهبود گرانروی آب در آبپوشی و سیالات مستقیم • کنترل تحرک آب • بهبود عملکرد پاکسازی آبپوشی	• اصلاح نفوذپذیری میکروبی
بیومس (سلول‌های میکروبی)	• ایجاد منطقه‌ای با نفوذپذیری بالا • لغو خیس شوندگی با رشد میکروبی • تجزیه جزئی انتخاب پذیر تمامی نفت خام • نقش عوامل انتخاب پذیر و غیرانتخاب پذیر در استخراج، خیس‌کنندگی و گرانروی نفت • جایگزینی فیزیکی نفت با رشد بین سطح نفت و سنگ/ آب	• زیست بسپار مشابه

1. Amphiphilic
2. Hydrophilic
3. Hydrophobic
4. Cosurfactants

www.SID

جدول ۲- کاربردهای زیست‌سورفاکتانت‌ها در صنعت نفت[۲۲]

صنعت	کاربردها	فعالیت‌ها
استخراج نفت	بهبود خصوصیات ترشوندگی[1] مخزن کاهش گرانروی نفت رقیق سازی لجن پراکنده[2] کنترل جذب پارافین/ آسفالت افزایش جابجایی نفت	عوامل[3] پوشش و خیس کردن امولسیون کنندگی عوامل پراکنده کردن عوامل حل‌کننده عوامل کاهش کشش بین سطحی
حمل و نقل نفت	کاهش گرانروی نفت تثبیت امولسیون نفت کنترل جذب پارافین/ آسفالت	امولسیون‌کننده‌ها عوامل پوشش عوامل حل‌کننده
پاک سازی مخزن/ کانتینر نفتی	امولسیون لجن نفت پراکندگی هیدروکربن	امولسیون‌کننده‌ها عوامل پراکنده کردن



شکل ۱- کاربرد زیست‌سورفاکتانت در صنعت نفت[۱۲]

1. Wettability
2. Dispersion
3. Agents

www.SID.ir

۳-۱ انواع زیست‌سورفاکتانت‌ها و طبقه بندی آنها

به دلیل فواید بالای زیست‌سورفاکتانت‌ها، این مواد می‌توانند در مصارف مختلفی از جمله کشاورزی، تولید غذا، شیمی، لوازم آرایشی و بهداشتی مصرف داشته باشند[۲۳]. در جدول (۳) انواع زیست‌سورفاکتانت‌ها و برخی از کاربردهای آنها ذکر شده است[۷].

جدول ۳- دسته‌بندی زیست‌سورفاکتانت‌ها و کاربردهای زیست محیطی آنها[۷]

زیست‌سورفاکتانت		**مولد** زیست‌سورفاکتانت	**یکی از کاربردها در بیوتکنولوژی زیست محیطی**
گروه	**کلاس**		
گلایکولیپید	رامنولیپید	*سودوموناس آرجینوسا*	حذف فلزات از نفت
	تری هالولیپید	*مایکروباکتریومتوبرکلوسیس*	افزایش توانایی دسترسی زیستی هیدروکربن ها
	سوفرولیپید	*ترولوپسیس بومبیکولا*	بازیافت هیدروکربن‌ها از گل و لای
اسیدهای چرب، فسفولیپید و لیپیدهای طبیعی	کرینومیکولیک اسید	*کورینباکتریوم لیپوس*	افزایش برداشت قیر
	پیکولیسپوریک اسید	*پنی سیلیوم پیکولیسپوروم*	حذف یونهای فلزی از محلولهای آبی
	فسفاتی دی اتانول امین	*آسینتوباکتر اس.پی، رادوکوکوس اریتروپولیس*	افزایش قدرت تحمل باکتری به فلزات سنگین
لیپوپپتیدها	سورفاکتین	*باسیلوس سابتیلیس*	حذف فلزات سنگین از خاک آلوده
	لیکنیسین	*باسیلوس لیکنیفورمیس*	ازدیاد برداشت نفت
زیست‌سورفاکتانت های بسپاری	امولسان	*آسینتوباکترکالکواستیکوس* RAG-1	تثبیت هیدروکربن‌ها در امولسیون آب
	آلاسان	*آسینتوباکترادورسیستن* KA-53	تثبیت هیدروکربن‌ها در امولسیون آب
	بیودیسپرسان	*آسینتوباکترکالکواستیکوس* A2	توزیع سنگ آهک در آب
	لیپوسان	*ساکارومایسس سرویسیه*	تثبیت هیدروکربن در امولسیون آب
	مانوپروتئین	*ساکارومایسس سرویسیه*	تثبیت هیدروکربن در امولسیون آب

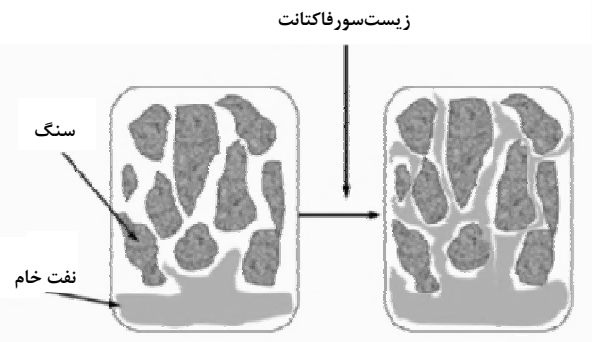
www.

۳-۲ مکانیسم عمل

زیست‌سورفاکتانت‌ها کشش بین سطحی نفت/آب و نفت/سنگ را کاهش می‌دهند. این کاهش نیروی موئینگی از حرکت نفت به داخل خلل و فرج سنگ جلوگیری می‌کند، زیست‌سورفاکتانت‌ها همچنین می‌توانند با ایجاد باند بین سطح مشترک آب و روغن، تشکیل امولسیون دهند[۷]. با این قابلیت انحلال می‌توان نفت را با آب تزریقی به چاه خارج نمود. در شکل (۲) شماتیکی از طریقه عمل زیست‌سورفاکتانت‌ها ارائه شده است.

۳-۳ تأثیر دما، شوریو pH بر عملکرد زیست‌سورفاکتانت در فرایند MEOR

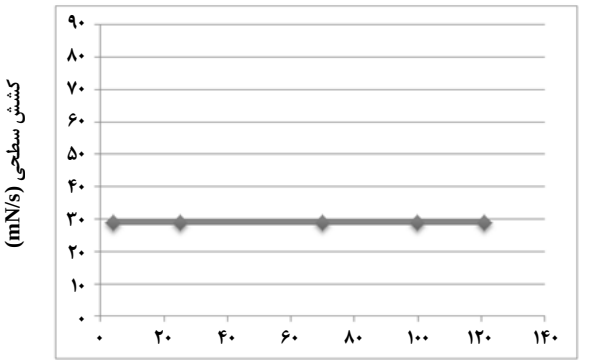
در روش MEOR مخلوطی از جمعیت میکروبی مورد استفاده قرار می‌گیرد که محصولات متابولیک آنها شامل : مواد فعال سطحی زیست‌شناختی، بسپارهای زیستی، زیست‌توده، اسیدها و حلال می‌باشد. به طور کلی باکتری‌ها و متابولیت‌های آنها در مخازن نفتی وابسته به شرایط محیطی مانند: دما، فشار، pH، حضور یا عدم حضور اکسیژن و همچنین منبع غذایی در دسترس، می‌باشند[۱۴].



شکل ۲- عملکرد زیست‌سورفاکتانت در ازدیاد برداشت(MEOR)[۷]

۳-۳-۱ تأثیر دما

مواد فعال سطحی بیولوژیکی در برابر تغییرات دما تا حدود ۱۲۰°C مقاوم هستند و در این محدوده افزایش دما هیچ تأثیری بر روی عملکرد مواد فعال سطحی بیولوژیکی نمی‌گذارد[۱۵و۱۴]. بدین صورت تغییری در مقدار کشش سطحی قبل و بعد از عملیات حرارتی (از مراحل ثانویه ازدیاد برداشت نفت) روی نمی‌دهد، این امر در شکل (۳) به خوبی ارائه شده است.[۱۷]



شکل ۳- نمودار تأثیر دما بر عملکرد زیست‌سورفاکتانت[۱۶]

فعالیت سطحی سورفاکتانت‌ها معمولاً در دمای بین ۲۰ تا ۲۵ °C تخمین زده می‌شود، گاهی اوقات در دماهای بالاتر نیز استفاده می‌شوند. بنابراین طی تحقیقی کشش سطحی زیست‌سورفاکتانت و سورفاکتانت تجاری شیمیایی در سه دمای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در این آزمایش با بهره‌گیری از ۴ سورفاکتانت سنتزی یا شیمیایی و یک زیست‌سورفاکتانت و استفاده از سه دمای مختلف به بررسی تأثیر دما بر کشش سطحی سورفاکتانت‌ها پرداخته‌اند که نتیجه آن در جدول (۴) موجود است[۱۸].

جدول ۴- تأثیر دما بر کشش سطحی سورفاکتانت‌ها[۱۸]

دما (°C)	کشش سطحی				
	لاس[1]	فیندت[2]	گلوکوپون ۲۱۵[3]	گلوکوپون ۶۵۰[4]	زیست‌سورفاکتانت
۲۰	۳۱/۴	۳۷/۹	۳۱/۸	۳۲/۰	۳۰/۹
۳۷	۳۱/۱	۳۶/۶	۳۰/۸	۳۱/۸	۳۰/۲
۴۶	۳۰/۹	۳۶/۴	۳۰/۷	۳۱/۲	۲۹/۹

1. Las
2. Findet
3. Glucopone 215
4. Glucopone 650

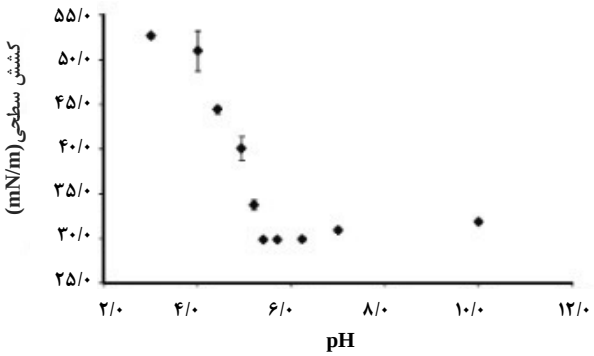
www.SID.ir
Archive of SID

در آزمایش دیگری بوردولی[1] و کنوار[2] روی استخراج نفت خام از ستون اشباع تحت شرایط آزمایشگاهی، تحقیقاتی انجام دادند. در مطالعات آزمایشگاهی روی MEOR به طور معمول، هستهٔ زیر لایه و ستون شامل زیر لایه مخصوص، معمولا شن و ماسه است. این زیر لایه تنها جهت اثبات مزایای زیست‌سورفاکتانت‌ها در استخراج نفت از سنگ مخزن به کار گرفته شده است. بدین منظور به یک ستون شیشه ای پرشده با ماسه و نفت خام اشباع نیاز است. محلول آبی زیست‌سورفاکتانت در ستون پاشیده می‌شود. پتانسیل زیست‌سورفاکتانت‌ها در روش MEOR با اندازگیری مقدار نفت آزاد شده از ستون پس از افزودن محلول آبی به ستون تخمین زده می‌شود. برای بررسی تأثیر دما بر عملکرد زیست‌سورفاکتانت‌ها در بازیافت نفت از ۳ دما در آزمایش استفاده کردند: دمای محیط، ۷۰°C ، ۹۰°C. که مشاهده نمودند که در دمای محیط بازدهی استخراج نفت خام ۴۹ تا ۵۴٪ و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس ۵۲ تا ۵۷٪ و در دمای ۹۰ درجه ۵۸ تا ۶۲٪ بود[۷].

۳-۳-۲ تأثیر pH

فعالیت مواد فعال سطحی تحت تأثیر pH نیز می‌باشد، که نتایج بررسی محققین بیانگر این است که افزایش pH در بازهٔ ۲ تا ۶ باعث کاهش مقدار فعالیت سطحی مواد بیولوژیکی می‌شود[۱۶] یا به عبارتی دیگر در شرایط اسیدی مواد فعال سطحی زیستی ته‌نشین می‌شوند[۱۷]. pH مطلوب برای این مواد عدد ۸ می‌باشد ضمن اینکه افزایش pH از ۸ به ۱۲ تأثیری بر فعالیت مواد فعال سطحی بیولوژیکی نمی‌گذارد[۱۶و۱۵]. تأثیرpH بر فعالیت زیست‌سورفاکتانت در شکل (۴) ارائه شده است.

همانگونه که در شکل (۴) مشخص است حداقل کشش سطحی زیست‌سورفاکتانت در pH بین ۵/۵ تا ۶ حاصل شده است. فعالیت سطحی زیست‌سورفاکتانت در pH بین ۵ تا ۱۰ تقریبا ثابت باقی می‌ماندکه نشان دهنده ثبات بالای زیست‌سورفاکتانت در pHهای قلیایی است. در PH برابر۱۰، مقدار کشش سطحی تنها یک برابر بیشتر از این مقدار در pH برابر ۷ است، در حالیکه در pH برابر ۵ این مقدار، ۹ برابر بزرگتر است[۱۹]. سورفاکتین[3] به عنوان یک سورفاکتانت شیمیایی، در محلول آبی در مقادیر pH بیشتر از ۵ قابل حل است و میزان pH برای بهینه حلالیت ۸ تا ۸/۵ است. شاید علت این امر به خاطر خصلت اسیدی سورفاکتین باشد. مولکول سورفاکتین شامل دو گروه کربوکسیلیک است که به آن طبیعت آنیونی می‌دهد. برای سورفاکتین در pH بین ۲ تا ۴ هیچ فعالیت سطحی عنوان نشده در حالی که بیشینه فعالیت سطحی آن در pH برابر ۶ عنوان شده است[۲۰].



شکل ۴- نمودار تأثیر pH بر عملکرد زیست‌سورفاکتانت[۱۹]

در تحقیق دیگری بیان شده است که در pH بین ۷/۵ تا ۱۰/۵، زیست‌سورفاکتانت نسبت به تغییر pH با ثبات است و تغییری در فعالیت سطحی آن ایجاد نمی‌شود و همانگونه که در جدول (۵) مشخص است، سورفاکتانت‌های سنتزی نسبت به تغییرات pH مقاومند[۲۱].

جدول ۵- تأثیر pH بر کشش سطحی[۲۱]

pH	کشش سطحی			
	لاس[4]	فیندت[5]	گلوکوپون ۲۱۵[6]	گلوکوپون ۶۵۰[7]
۳	۳۲/۱	۳۱/۲	۳۱/۹	۳۷/۱
۷	۳۱/۲	۳۱/۵	۳۱/۸	۳۷/۲
۱۰	۳۲/۰	۳۰/۶	۳۱/۹	۳۷/۴

۳-۳-۳ شوری

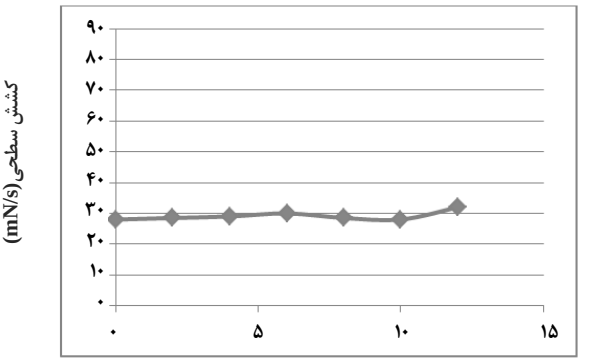
با توجه به مطالعات انجام شده، افزایش مقدار شوری تا غلظت ۱۰٪ تأثیر محسوسی بر عملکرد مواد فعال سطحی زیستی نمی‌گذارد اما

1. Bordoloi
2. Konwar
3. Surfactin
4. Las
5. Findet
6. Glucopone 215
7. Glucopone 650

Archive of SID

www.

در غلظت‌های بالاتر کشش سطحی حدود ۱۲٪ افزایش می‌یابد [۱۶]. تأثیر شوری بر عملکرد زیست‌سورفاکتانت‌ها در شکل (۵) آورده شده است.

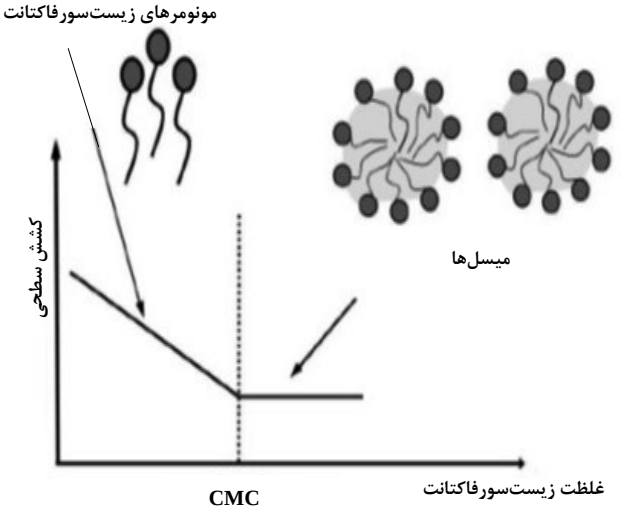


شکل ۵- تأثیر میزان شوری بر فعالیت زیست‌سورفاکتانت‌ها[۱۶]

فعالیت زیست‌سورفاکتانت‌ها به غلظت ترکیبات فعال سطحی در حالت رسیدن به غلظت تجمعی بحرانی[1] (CMC) بستگی دارد. در غلظتهای بالاتر از CMC مولکولهای زیست‌سورفاکتانت به هم چسبیده و تشکیل توده، دولایه و کیسه‌های کوچک را می‌دهند. CMC معمولاً برای اندازگیری میزان اثر سورفاکتانت استفاده می‌شود. بیوسورفکتانت‌های مؤثر، CMC پایینی را دارند، این بدین معناست که کمتر بیوسورفکتانت‌ها جهت کاهش کشش سطحی استفاده می‌شوند[۱۳].

ساختار میسل[2] زیست‌سورفاکتانت‌ها را قادر به کاهش تنش سطحی و بین سطحی می‌کند و قابلیت انحلال و توانایی زیستی آبدوستی ترکیبات آلی را افزایش می‌دهد. ساختار میسل نقش واضحی را در ساختار میکروامولسیون ایفا می‌کند. میکروامولسیون‌ها مخلوط‌های مایع پاک و پایدار از آب و محدوده ای از روغن است که بوسیلهٔ تک لایه یا تجمعی از زیست‌سورفاکتانت‌ها جداسازی می‌شوند. ساختار میسل و غلظت بحرانی تشکیل میسل در شکل (۶) ارائه گردیده است[۷].

میکروامولسیون‌ها زمانی که یک فاز مایع به صورت قطره در فاز مایع دیگری پخش شود، تغییر شکل می‌دهند، مثل: روغن پخش شده در آب (امولسیون مستقیم) یا آب پخش شده در روغن (امولسیون معکوس).



شکل ۶- نمودار ارتباط کشش سطحی با غلظت زیست‌سورفاکتانت[۷]

۴- تأثیر زیست‌سورفاکتانت بر کشش سطحی و بین سطحی

کاهش کشش سطحی هوا- آب توسط سورفاکتنت ها، توانایی آنها در کاهش نیروی بین سطحی که باعث نگهداشت نفت و روغن در کنار هم می‌شود را نشان می‌دهد. نتایج مطالعات در این مورد در جدول(۵) ذکر شده است، که بیان کننده این امر است که CMC محلول تازه ای از رامنولیپید، آسین، ساپونین، لکتین، تانن و SDS در غلظتهای ۰/۲و ۰/۱ و ۰/۱ و ۰/۴ و ۰/۰۰۸ و درصد جرمی ۰/۲٪ رخ می‌دهد. CMC غلظت آبی سورفاکتنت‌ها است که کشش سطحی محلول ابتدا کوچکترین کشش سطحی را نشان می‌دهد. فاکتورهایی همچون: دما، الکترولیت و سختی آب بر CMC سورفاکتانت در محلول تأثیر می‌گذارند. این جدول نشان می‌دهد که CMC در هر کدام از سورفاکتانت‌ها در چه غلظتی از آنها رخ می‌دهد. کشش بین سطحی نفت خام و آب تقطیر شده $25 mNm^{-1}$ اندازه‌گیری شده است، زمانی که محلول سورفاکتانت اضافه می‌شود، این مقدار به مقادیر نشان داده شده در جدول (۶) تنزل می‌یابد. این جدول نشان می‌دهد که رامنولیپید و تانن پتانسیل بیشتری را جهت حذف نفت از خاک از خود نسبت به بقیه نشان می‌دهند. که این امر به این خاطر است که کشش بین سطحی می‌تواند تا ۴/۵ میلی نیوتون بر متر کاهش یابد. در حالی که لکتین پتانسیل پایینی در مقایسه با دیگر زیست‌سورفاکتانت‌ها نشان می‌دهد[۹].

1. Critical Micelle Concentration
2. Micelle

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶- مقایسه سورفاکتانت و زیست‌سورفاکتانت در کاهش کشش سطحی و [9CMC]

	آسین	لکتین	رامنولیپید	ساپونین	SDS	تانین
CMC(٪وزنی)	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۱	۰/۲	۰/۰۰۸
کشش سطحی(mNm^{-1})	۴۴۴	۳۵	۲۸	۳۹	۳۵	۵۰
کشش بین سطحی(mNm^{-1})	۷/۰	۵/۰	۴/۵	۶/۰	۷/۰	۴/۵

در تحقیقی با استفاده از گونه رامنولیپید، سویه *سودوموناس آرجینوسا* پی ای ۱[1]، که مولد زیست‌سورفاکتانت است، جهت تعیین میزان کاهش کشش سطحی بر انواع هیدروکربن ها، در صورت استفاده از زیست‌سورفاکتانت، به نتایج جالب توجهی دست یافته اند که حاصل آن در جدول (۷) ارائه گردیده است[۱۰]:

جدول ۷- اندازگیری کشش سطحی پس از هفت روز تخمیر سودوموناس آرجینوسا پی ای۱[۱۰].

منبع کربن	کشش سطحی ابتدایی D/cm	کشش سطحی نهایی D/cm	٪ تغییر در کشش سطحی
n- هگزان	۵۳/۹۰	۲۸/۳۵	۴۷/۴
نفت پارافینیک	۵۴/۰۰	۵۱/۶۰	۴/۴
نفت باباسو	۴۰/۰۰	۲۷/۶۰	۳۱
گلیسرول	۵۳/۰۰	۲۷/۴۶	۴۸/۲

۵- تولید زیست‌سورفاکتانت

زیست‌سورفاکتانت‌ها معمولا به صورت برون سلولی یا بخشی از غشاء سلولی بوسیله یاخته، باکتری یا رشته‌های قارچ تولید می‌شوند. انواع مختلفی از باکتری در تحقیقات انجام شده روی زیست‌سورفاکتانت‌ها جهت کشت استفاده شده‌اند. بیشتر باکتری‌های استفاده شده، از مکان‌های آلوده جداسازی می‌شوند، که معمولاً شامل هیدروکربن نفتی و فاضلابهای صنعتی است.

۶- فاکتورهای مؤثر بر تولید زیست‌سورفاکتانت

ترکیب درصد و فعالیت امولسیون کنندگی زیست‌سورفاکتانت تنها به گونه مولد وابسته نیست بلکه به شرایط کشت نیز وابسته است، همچون طبیعت منبع کربن، منبع نیتروژن یا به عبارتی دیگر نسبت C به N، محدودیت مواد مغذی، پارامترهای شیمیایی و فیزیکی همچون دما، هوادهی، pH و کاتیون ها[۲۴]. فاکتورهای بسیاری از قبیل فاکتورهای محیطی و فاکتورهای منبع کربن بر تولید زیست‌سورفاکتانت‌ها مؤثرند.

۶-۱ زیرلایه‌های کربنی برای تولید زیست‌سورفاکتانت

تعدادی زیادی از زیرلایه‌های کربنی در تحقیقات تولید زیست‌سورفاکتانت استفاده شده است. در حقیقت نوع، کیفیت و کمیت تولید زیست‌سورفاکتانت توسط ماهیت زیرلایه کربنی متأثر است و بهبود می‌یابد. دیزل و نفت خام، منبع خوبی برای نیاز کربنی و ساکاروز وگلیسرول نیز جهت تأمین نیاز کربن تولید زیست‌سورفاکتانت به شمار می‌آیند. در عملیات بر روی فاضلاب، از استات و مقدار کمی هگزادکان قابل حل به عنوان منبع کربن جهت رشد گوردونیاآگارا[2] استفاده شده است و تولید زیست‌سورفاکتانت در ابعاد بالا در راکتورهای غیرمداوم انجام گرفته است. مشاهده شده است که اهمیت منبع کربن زیست‌سورفاکتانت نقش اصلی را در تولید ایفا می‌کند. اشاره شده است که منبع کربن مانند غلظت مواد غذایی، pH و مرحله کشت، بر محصول تولید رامنولیپید تأثیر می‌گذارد[۲۲].

زیرلایه‌های متفاوتی جهت تولید زیست‌سورفاکتانت‌ها تا به حال مورد استفاده قرار گرفته است که در جدول (۸) آمده است.

۶-۲ منابع نیتروژن

نیتروژن در محیط کشت تولید زیست‌سورفاکتانت بسیار مهم است چراکه این ماده برای رشد میکروبی ضروری است و سنتز آنزیم و پروتئین به آن بستگی دارد. ترکیبات نیتروژن مختلفی برای تولید

1. Pseudomonas Aeruginosa PA1

2 .Gordonia Amara

Archive of SID
www.

زیست‌سورفاکتانت‌ها مورد استفاده قرار گرفته انـد، همچـون پپـتن، اوره[1]، آمونیم سولفات، نیترات آمونیم، نیترات سدیم، عصاره مخمـر[2]، عصاره[3] گوشت و عصاره مالت برای تولید زیست‌سورفاکتانت‌ها مـورد استفاده قرار گرفته‌اند.

جدول ۸- زیرلایه برای عامل‌های سطح فعال میکروبی و مزیت آنها[۲۲]

منبع	بخش مرتبط به زیرلایه	محصول تولیدی
نشاسته	پودر	زیست‌سورفاکتانت
روغن کنجاله سویا	دانه ها	زیست‌سورفاکتانت
چغندر قند	پوست	زیست‌سورفاکتانت
سیب زمینی شیرین	پوست	زیست‌سورفاکتانت
ذرت خوشه ای	پوست	زیست‌سورفاکتانت
سبوس برنج و گندم	پوست ساقه	زیست‌سورفاکتانت
تفاله نیشکر	پوست ساقه	زیست‌سورفاکتانت
تفاله آب سیب	گوشت میوه	زیست‌سورفاکتانت
آب پنیر	آب پنیر	زیست‌سورفاکتانت

اگرچـه عصـاره مخمـر بیشـتر بـه عنـوان منبـع نیتـروژن در تولیـد زیست‌سورفاکتانت اسـتفاده شـده اسـت، اسـتفاده از آن بـه غلظـت ارگانیسم و محیط کشت بستگی دارد. در کشت ریزاندام *آرتروباکتر پارافینوس*[4]، نمک‌های آمونیم و اوره به عنوان منبع نیتـروژن جهـت تولید زیست‌سورفاکتانت مناسب‌تر گزارش شده‌اند که باعث بـازدهی تولید بالاترشده است[۲۵].

۶-۳ فاکتورهای محیطی

تولید زیست‌سورفاکتانت‌هـا ماننـد هـر واکـنش شـیمیایی دیگـر، از فاکتورهایی تأثیر می‌پذیرد که تولید آن را افزایش می‌دهـد یـا آن را متوقف می‌کند. بنابراین، فاکتورهـای محیطـی همچـون pH، میـزان نمک و دما بر تولید زیست‌سـورفاکتانت مـؤثر اسـت. در کاربردهـای باکتری برای ازدیاد برداشت به روش میکروبی، باکتری باید قادر بـه رشد تحت شرایط شدید موجود در مخـازن نفـت مثـل دمـای بـالا، فشـار، نمـک و اکسـیژن پـایین باشـد. نتـایج نشـان داده انـد کـه زیسـت‌سـورفاکتانت MEOR171 و MEOR 172 تولیـدی از گونـه سودوموناس، تحت تأثیر دمـا و pH و غلظـت نمـک‌هـای کلسـیم و منیزیم قـادر بـه رشـد اسـت و در بسـیاری از مخـازن نفتـی یافـت می‌شود. غلظت نمک نیز بر تولید زیست‌سورفاکتانت تأثیر می‌گذارد، کـه بـه تـأثیر آن بـر فعالیـت سـلولی بسـتگی دارد. برخـی زیست‌سورفاکتانت‌ها با غلظتهای بالای ۱۰٪ نیز تـأثیر نمـی‌پذیرنـد، اگرچه کاهش ناچیزی در CMC مشاهده می‌شود[۲۲]. در زیر برخی از عوامل محیطی مؤثر بر تولید این محصولات را بیان می‌کنیم.

pH ۱-۳-۶

در تحقیقی به بررسی تأثیر pH در کشت و تولید زیست‌سـورفاکتانت از گونه‌ای خاص پرداختند، جهت تنظیم آن از بافر فسفات اسـتفاده کردنـد تـا pH را از ۴ تـا ۸ برسـانند. در ایـن تحقیـق بـا کشـت وای. لیپولیتیکا[5] جهـت تولیـد زیسـت‌سـورفاکتانت بـه ایـن نتیجـه رسیدند که بهترین pH برای تولید عدد ۸ است، که در حقیقـت pH طبیعی در آب دریـا اسـت[۲۶]. امـا در پـژوهش دیگـری در تولیـد گلایکولیپید توسط گونه سی. آنتراکتیکا[6] و سی. آپیکـولا[7] از محـیط کشت اسیدی بهره بردند، که pH بهینه برای رشد ایـن ریزانـدام‌هـا ۵/۵ است. بدون کنترل pH میزان تولید را نمی‌تـوان در یـک مقـدار ثابت و بالا نگه داشت[۲۷].

دما ۲-۳-۶

بیشتر تولیدات زیست‌سورفاکتانت‌ها در محدوده دمایی ۲۵ تا $30^{o}C$ صورت گرفته است. کاساس و اوکوا[8] در پژوهشی اشـاره کردنـد کـه میزان سوفرولیپید[9]های حاصله توسط یک گونه خاص تحـت عنـوان سی. بومبیکولا[10] در دمای ۲۵ یا $30^{o}C$ یکسان است. این در حـالی است که در دمای ۲۵ درجه میزان رشد بیومس پـائین تـر و میـزان مصرف گلوکز بالاتر از تخمیـر در دمـای۳۰درجـه سلسـیوس اسـت [۳۲و۲۸]. در تحقیق دیگری نیز اشاره شده است که بیشـینه تولیـد

1. Urea Peptone
2. Yeast
3. Extract
4. Arthrobacter Paraffineus

5. Y. Lipolytica
6. C. Antarctica
7. C. Apicola
8. Casas and Ochoa
9. Sophorolipids
10. C. Bombicola

www.SID.ir

سی. بومبیکولا در ۳۰ درجه سلسیوس است در حالی که بهترین دما برای تولید سوفرولیپیدها ۲۷°C است[۲۹].در کشت سی.آنتارستیکا، تغییر دمایی باعث تولید زیست‌سورفاکتانت‌های مختلفی می‌شود. بالاترین تولید لیپید مانوسیلریتریتول[1] در دمای ۲۵ درجه سلسیوس سلسیوس حاصل می‌شود[۳۰].

۶-۳-۳ غلظت یون فلزی

غلظت یون‌های فلزی نقش بسیار مهمی را در تولید برخی زیست‌سورفاکتانت‌ها ایفا می‌کنند، چراکه آنها به کوفاکتورهای[2] مهمی برای بسیاری آنزیم‌ها تبدیل می‌شوند. تولید بالای زیست‌سورفاکتانت سورفاکتین در حضور نمک معدنی Fe^{2+} در محیط کشت رخ می‌دهد[۳۱].

۶-۳-۴ هوادهی و همزدن

تولید زیست‌سورفاکتانت *ان.ارتروپولیس* و *ای. کالکوستیکوس* در اثر افزایش تنش برشی ناشی از هم زدن یا هوادهی در شدت‌های بالای آن، کاهش می‌یابد، این در حالی است که در مخمرها میزان تولید افزایش می‌یابد[۱۳]. مطالعاتی بر روی سویه سی. آنتارکتیکا که مولد زیست‌سورفاکتانت است صورت گرفت که در نتیجه آن در شدت هوادهی ۱vvm به میزان تولید $45/5 g.l^{-1}$ رسیدند و غلظت اکسیژن محلول ۵۰٪ میزان اشباع بود. با این وجود، با شدت ۲vvm میزان تولید کف افزایش یافت و تولید زیست‌سورفاکتانت به ۸۴٪ کاهش یافت[۳۳و۳۲].

۷- مزایای زیست‌سورفاکتانت‌ها در صنایع نفتی

برخلاف سورفاکتانت‌های شیمیایی که اثرات زیانبار زیست‌محیطی فراوانی بر جای می‌گذارند، بیوسورفاکتانت‌ها فاقد هرگونه عوارض نامطلوب بر روی اکوسیستم طبیعی است. یکی از نکات جالب توجه آن‌است‌که به خالص بودن بیوسورفکتانت نیازی نیست و حتی محیط کشت حاوی باکتری‌های مولد این ترکیبات هم می‌تواند برای استحصال نفت خام مورد استفاده قرارگیرد. زیست‌سورفاکتانت‌ها همچنین می‌توانند در کنترل آلودگی‌های صنعتی، آلودگی‌های نفتی، زیست پالایی و سم زدایی از خاکهای آلوده مفید باشند[۳۳].

1. Mannosylerythritol
2. Cofactors

نکته جالب توجه در مورد ریزاندام‌های مولد بیوسورفاکتانت آن است که اغلب این باکتری‌ها علاوه بر هالوفیل (نمک‌دوست) بودن، ترموفیل (گرمادوست) و یا حتی اکسترم ترموفیل[3] نیز هستند. یعنی یعنی به حرارت‌های بالا مقاومند. از همین رو، محصولات تولیدی آنها نیز در برابر حرارت مقاوم بوده و به راحتی غیرفعال نمی‌شوند.

۸- کاربرد میدانی ازدیادبرداشت با سورفاکتانت ها

اولین آزمایش میدانی MEOR با استفاده از زیست‌سورفاکتانت‌ها در میدان نفتی لیسبون در آرکانزاس امریکا در سال ۱۹۵۴ انجام پذیرفت که با استفاده از میکروب کلاستریدیوم و ملاس تزریق شده به چاه نفت پاسخ به صورت، تولید گاز و اسید، افزایش گرانروی و چگالی نفت و افزایش کسر سبک نفت بوده است. و از آن موقع تاکنون آزمایشات متعددی انجام گرفته و تنها در سال ۲۰۰۳ در آمریکا بیش از ۴۰۰ آزمون میدانی در این زمینه انجام گرفته است[۳۴].

۹- نتیجه‌گیری

طی ۲۰ سال اخیر کاربرد زیست‌سورفاکتانت‌های میکروبی و بیواملوسیون‌کننده‌ها و پتانسیل استفاده از آنها در صنعت نفت بسیار مورد بررسی قرار گرفته است. اما به دلیل مشکلات تولید و پیامدهای ناشناخته استفاده در مقیاس وسیع، فقط تعداد محدودی از آنها تجاری شده‌اند. با توجه به پیشرفت روزافزون فناوری و تمایل بیشتر و بیشتر به فرایندهای ایمن که کمترین آسیب و آلودگی را برای محیط زیست دارند و وضع قوانین زیست محیطی، بهره‌گیری از روش ازدیاد برداشت به روش میکروبی و به ویژه بهره‌گیری از زیست‌سورفاکتانت‌ها در حال افزایش است. زیست‌سورفاکتانت‌ها به دلیل زیست تخریب پذیری وسمیت پایین بسیار ارزشمند هستند، همچنین هزینه تولید آنها پایین است چراکه برای تولید این محصولات نیازی به محیط کشت‌های گران قیمتی نیست و از ترکیباتی همچون ملاس نیز می‌توان برای این کار استفاده نمود. برای استفاده از آنها در مقیاس صنعتی باید از منابع تجدید پذیر ارزان استفاده کرد. اگرچه تعداد بسیاری از زیست‌سورفاکتانت‌ها از ریزاندام‌ها بدست آمده است، اما تحقیقات انجام گرفته بیشتر متوجه انواع گونه‌های باسیلوس، اسینتوباکتر وسودوموناس بوده است.

3. Extreme Thermophile

Archive of SID

www.

استفاده از سایر گونه‌ها نیاز به بررسی اقتصادی دارد. برای مثال‌گونه مایکوباکتریوم در مجاورت هیدروکربن‌ها رشد می‌کند و زیست‌سورفاکتانت تری هالولیپید تولید می‌نماید، اما تحقیقات اندکی روی استفاده از آن در صنایع نفت صورت گرفته است. ترکیب درصد و فعالیت امولسیون‌کنندگی زیست‌سورفاکتانت تنها به گونه مولد وابسته نیست بلکه به شرایط کشت مانند منبع کربن، منبع نیتروژن، محدودیت مواد مغذی، پارامترهای شیمیایی و فیزیکی همچون دما، هوادهی، pH نیز وابسته است.بیشتر تولیدات زیست‌سورفاکتانت‌ها در محدوده دمایی۲۵ تا ۳۰°C صورت گرفته است. فعالیت زیست‌سورفاکتانت‌ها تحت تأثیر pH نیز می‌باشد، که نتایج بررسی محققین بیانگر این است که افزایش pH در فاصلهٔ ۲ تا ۶ باعث کاهش مقدار فعالیت سطحی مواد بیولوژیکی می‌شود. pH مطلوب برای این مواد عدد ۸ می‌باشد ضمن اینکه افزایش pH از ۸ به ۱۲ تأثیری بر فعالیت مواد فعّال سطحی زیستی نمی‌گذارد.

مراجع

[1] Jonathan, D., Hamme, V., Singh, A., Owen, P.,"Recent Advance in Petroleum Microbiology "Microbiology and Molecular Biology Reviews,pp.527-532, (2003)

[2] Bryant steren, L., Thomas,L.,"Reservior Engineering Analysis of Microbial Enhanced Oil Recovery", SPE Paper 63229 Pres, at the SPE annual technical conference and exhibition, USA ,pp.34-40(2000).

[3] Bento,F., Gaylard, C.,"The production of interfacial Emulsion by Bacterial isolates from Diesel Fulels" international bioderioration and biodeyration ,pp.31-33,(1996).

[4] Lazar, I.,"Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR)". Petroleum Science and Technology, 25(3): pp.1353–1366, (2007).

[5] Bao, M., Kong, X., Jiang, G., Wang, X.,Li, X., "Laboratory study on activating indigenous microorganisms to enhance oil recovery in shengli oil field", Journal of Petroleum science and Engineering,pp. 42-46,66(2009).

[6] Zhao, X., Jiang, B.,"Brief Review on MEOR Technology". Petrol Sci; 1: pp.17-23, (2004).

[7] Magdalena, P., Grażyna, A., Płaza, P., Piotrowska-Seget,Z., Singh,S.," Environmental Applications of Biosurfactants: Recent Advances".Int. J. Mol. Sci., 12; doi:10.3390/ijms12010633,pp. 633-654,(2011).

[8] Jang, L., Chang, P., Findley, J.,Yen, T.,"Selection of bacteria with favorable transport properties through porous rock for the application of microbial-enhanced oil recovery". App Environ Microbiol.,45(3): pp. 1066-1072,(1983).

[9] Urum, K., Pekdemir, T., "Evaluation of biosurfactants for crude oil contaminated soil washing". Chemosphere 57,pp. 1139–1150,(2004).

[10] Santa, L., Sebastian, G., Menezes, E., Alves, T., Santos, A., Pereira,N., Freire, D., "Production of Biosurfactants from Pseudomonas aeruginosa PA1 Isolated in Oil Environments", Vol. 19, No. 02, pp. 159 - 166, (2002).

[11] Khire, J., Khan, M.,"Microbially enhanced oil recovery (MEOR). I: Importance and mechanism of MEOREnzyme Microbiol Technol". 16: pp.170-172,(1994).

[12] Mazaheri Assadi, M ., Tabatabaee, M.,"Biosurfactants and their Use in Upgrading Petroleum Vacuum Distillation Residue: A Review". Int. J. Environ. Res., 4(4): pp.549-572, ISSN: 1735-6865, (2010).

[13] Desai, J., Banat, I.,"Microbial production of surfactants and their commercial potential. Microbiol". Mol. Biol. R., 61,pp. 47–64 (1997).

[14] Bordoloi, N., Konwar, B.,"Microbial surfactant-enhanced mineral-oil Recovery under laboratory conditions, colloids and surface", B: Biointerfaces, 63: pp. 73-82, (2008).

[15] Sen, R., "Biotechnology in petroleum recovery": The microbial EOR, Progress in Energy and combiustion science 34,pp. 714-724(2008).

[16] Bagher, T., Shourian, M., Roostaazad, R., Rouholamini, A., Adelzadeh, M. R., Akbari Noghabi, K., "An efficient biosurfuctant-producing bacterium Pseudomonas aevuginosa MR01", Isolated from oil excavation areas in south of Iran, colloids and surfaces B:Biointerfaces,69,pp.183-193(2009).

[17] Soudmandasli, A., Ayatollahi, S., Mohabatkar, H., "Assessing the effect of temperature and salinity on Microbial Enhanced Oil Recovery".Journal of Petroleum Science and Engineering .pp.161-172, (2011).

[18] Vaza, D., Gudinab, J., Alamedaa, E., Teixeirab, A., Rodrigues, R.," Performance of a biosurfactant produced by a Bacillus subtilis strain isolated from crude oil samples as compared to commercial chemical surfactants". Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 89 pp.167– 174,(2012).

[19] Mawgoud, A., Aboulwafa, M., Hassouna, N., "Optimization of surfactin production by Bacillus subtilis isolate BS5."Biochem. Biotechnol.pp.150 289,(2008).

[20] Ghojavand, H., Vahabzadeh, F., Roayaei, E., Shahraki, A., "Production and properties of a biosurfactant obtained from a member of the Bacillus subtilis group (PTCC 1696)". Journal of Colloid and Interface Science 324,pp 172-176, (2008).

[21] Portilla, O., Torrado, A., Dominguez, J., Moldes, A., Agric,J.,".Stability And Emulsifying Capacity Of Biosurfactants Obtained from Lignocellulosic Sources Using Lactobacillus pentosus". Food Chem.pp.56 (2008).

Archive of SID

www.SID.ir

[22] Pattanathu. K., Rahman, S., Gakpe, E., "Production, Characterisation and Application of Biosurjactants-Review". Biotechnology 7(2): pp-360-370,(2008).

[23] Van, M., Lee, H., Trevors, J.,"Application of microbial surfactants" Biotechnol Adv., Vol. 9, pp. 241-252(1991).

[24] Salihu, A., Abdulkadir, I., Almustapha, M.,"An investigation for potential development of biosurfactants". Microbiol.Mole. Biol. Rev., 3(5):pp.111-117(2009).

[25] Adamczak, M., Bednarski, W.,"Influence of medium composition and aeration on the synthesis of biosurfactants". Candida antartica Biotechnology letters, 22: pp.313-316(2000).

[26] Zinjarde, S., Pant, A., "Emulsifier from tropical marine yeast", Yarrowia lipolytica NCIM 3589. Journal of Basic Microbiology, 42: pp. 67-73, (2002).

[27] Bednarski, W., Adamczak, M., Tomasik, J., "Application of oil refinery waste in the biosynthesis of glycolipids by yeast". Bioresource Technology, 95: pp.15-18, (2004).

[28] Casas, J., Garcia, F., "Sophorolipid production by Candida bombicola medium composition and culture methods". Journal of Bioscience and Bioengineering, 88:pp. 488-494,(1999).

[29] Deshpande, M., Daniels, L., "Evaluation of sophorolipid biosurfactant production by Candida bombicola using animal fat". Bioresource Technology, 54: pp. 143-150, (1995).

[30] Kitamoto, D., Ikegami, T., Suzuki, G., "Microbial conversion of n-alkanes into glycolipid biosurfactants, mannosylerythritol lipids by Pseudozyma (Candida antarctica)". Biotechnology Letters, 23: pp. 1709-14, (2001).

[31] Thimon, L., Peypoux, F., Michel, G., "Interaction of surfactin, a biosurfactant from Bacillus subtilis, with inorganic cations". Biotechnology Letters, 14: pp.713-718, (1992).

[32] Guilmanov, V., Ballistreri, A., Impallomeni, G., "Oxygen transfer rate and sophorose lipid production by Candida bombicola". Biotechnology and Bioengineering, 77:pp. 489-495, (2002).

[33] Pattanathu, K., Rahman,M., and Edward, G., "Production, Characterisation and Application of Biosurjactants-Review". Biotechnology 7(2):pp.360-370 ,(2008).

[34] Lazar, G., Yen, T., "Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR)" Petroleum Science and Technology 25:pp.1353-1366, (2007).

Archive of SID